

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 11 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23340183

研究課題名(和文)次世代核融合実験のための高原子番号不純物スペクトルの観測とモデリング

研究課題名(英文)Observation of high-Z impurity spectra and its modeling for next-generation fusion experiment

研究代表者

森田 繁 (MORITA, Shigeru)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号：80174423

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：LHD装置に開発した高原子番号不純物ペレットを入射することにより、それらイオンからのスペクトル線を発光させ、可視、VUV及びEUV分光器を用いてスペクトル観測を行った。タングステンのUTAと呼ばれる疑似連続光をEUV領域で観測し、結果を開発した原子モデリング計算と比較し、良い一致を見た。VUV領域ではWVIを代表とするタングステン低電離イオンスペクトルを初めて観測した。また、可視領域で磁気双極子M1遷移を初めて観測し、その波長を原子構造理論と比較した。実験と理論には有意な差が見られ、原子構造理論に更なる改良の必要性を指摘した。

研究成果の概要(英文)：A developed high-Z impurity pellet is injected in LHD device and line emissions from such impurities are sufficiently obtained. Impurity spectra are measured with visible, VUV and EUV spectrometers in details. The unresolved transition array (UTA) is successfully observed in EUV range. The result is analyzed with developed C-R model and a good agreement is obtained. Line emissions from low-ionized tungsten, e.g. WVI, are observed for the first time in VUV range. Magnetic dipole forbidden line (M1) in visible range is also observed from tungsten ions for the first time in fusion plasmas. The wavelength is compared with theoretical values. A clear difference is observed between the experiment and theory. The result requests further improvement in the atomic structure model.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：プラズマ核融合 プラズマ計測 プラズマ分光 原子分子物理 磁気双極子禁制線 タングステン

1. 研究開始当初の背景

従来、磁場閉じ込めトラス装置ではステンレス真空容器材料から流入する金属不純物が放射冷却を引き起こすため、鉄を代表とする金属不純物のスペクトル構造が精力的に研究されてきた。その結果高精度で且つ詳細なエネルギー準位図が完成され、それらスペクトル線強度のモデリングも大きく進展した。最近では宇宙プラズマでのそれら金属スペクトルの観測技術の向上もあり研究の重要性が更に高まり、これまで地上で実験観測されたデータを基に ADAS, HULLAC, CHIANTI 等のスペクトル線強度計算コードが開発・整備され、世界の多くのユーザーに広く利用されつつある。更に、最近のトラス装置では真空容器を保護するため炭素材料が広く採用されると共に放電洗浄技術が向上したため、金属や酸素不純物の流入量が大きく低減し、現在炭素が唯一主な不純物となっている。この結果炭素不純物研究の重要性が高まり、炭素スペクトル線強度のモデリングが飛躍的に進み、その比較的簡単な原子構造とあいまって ADAS 等で公開されている計算精度は実験データを十分に説明できるレベルに到達している。

重水素と三重水素を燃料とし、核反応生成物であるアルファ粒子を加熱源とする国際熱核融合炉 (ITER) の建設が「高性能プラズマの定常化」を目的として開始された。炭素材への三重水素の吸着や高熱流束のため、高融点温度を持つタングステンが採用されることになり、タングステンの研究が一躍注目を集めている。現在、世界の多くのトカマク装置で真空第一壁やダイバータ材をタングステンに交換し、実験が行われている。周辺プラズマとタングステン壁との相互作用やコア部でのタングステンの不純物輸送が研究の中心になっているが、タングステンは 74 という大きな原子番号を有する元素であり、そのスペクトル線構造は全くと言ってよい程理解されていない。高温プラズマ中でのタングステンイオンの挙動を研究するためにはその診断手法であるタングステンスペクトルの観測、同定、モデリングが必須の課題であり、ここ数年前より世界のトカマク装置や原子衝突装置でタングステンの分光研究が開始されている。

一方、タングステンを初めとする高 Z 多価不純物イオンの研究は単に ITER 実験への貢献だけではなく、新たなプラズマ診断法の開発や原子物理の進展に大きな役割を果たす。原子番号が大きくなるにつれ、電子と重い原子核との間の大きなクーロン引力に基づく相対論効果が飛躍的に大きくなり、L-S 結合で記述される電子遷移に関する禁制則が成立しなくなる。このため小さな原子番号を有する不純物イオンでは観測できなかった非常に長

い波長を有する磁気双極子禁制線 (M1) が強く発光することになる (図 1 参照)。つまり M1 遷移を利用すれば通常低電離イオンしか計測できない可視領域においてプラズマコア部の不純物診断が可能となる。ITER のような核燃焼装置で真空を必要としない分光計測法が確立できればタングステン計測にとって非常に大きな意義を有する。また、高原子番号原子の M1 遷移を利用した原子構造の研究は量子電磁力学の高精度化に大きく寄与する。従って、M1 遷移の観測はプラズマ診断の新展開と共に原子物理の面でも非常に意義の高い研究となる。

2. 研究の目的

磁場閉じ込めトラス装置では第一壁を保護するために長らく炭素材料が用いられてきたが、ITER ではトリチウム蓄積や高熱流束除去等の理由によりタングステンの使用が決定された。ITER での核燃焼定常実験を成功させるためにはタングステンの挙動を調べることが死活的に重要であるが、その余りにも大きな原子番号 (Z) のため発光スペクトルは実験・理論の両面でほとんど研究されてこなかった。そこで、大型ヘリカル装置 (LHD) プラズマと付属する分光計測機器を用いてタングステンの可視、真空紫外、EUV 及び X 線領域に至るスペクトル線を観測し、その構造を解明すると共にスペクトル線強度に関するモデリングと不純物診断法の開発を行う。併せて波長を高精度で同定することにより波長計算コードの高精度化を即すと共に大きな相対論的效果を有する高 Z イオンの原子モデル確立に寄与する。高 Z 多価イオンスペクトルの研究は原子衝突装置・EBIT やトカマク装置で行われつつある。EBIT は電子密度が低く発光スペクトル線強度が弱いので観測に数時間以上の時間を必要とする。トカマクは高密度であるがディスラプション回避のため分光計測目的で多量の高 Z 元素を入射することは難しい。これに対して LHD では多量の不純物を入射することができ、圧倒的に大きなスペクトル線強度を得ることが可能である。この LHD を利用した明るい分光光源は飛躍的に同定波長精度を向上させると共にこれまで観測できなかった多くのスペクトル線の発見に直結する。更に不純物ペレットとして高 Z 元素を入射し、高密度ペレット溶発雲を直接観測することにより、高 Z イオンスペクトルを大量に観測入手する。これにより高 Z 不純物計測分野の研究現状を一気に進展させることが可能となる。

3. 研究の方法

LHD における高密度 NBI プラズマ及び高温 ECH プラズマに 2 層構造を有する不純物ペレットを入射することによりタングステン (Z=74) イオンの明るい発光光源を生成

する。LHD に設置している多くの可視、VUV、EUV 分光器を利用してコアプラズマもしくはペレット溶発雲を観測することにより大量のデータ生産を行う。最新の原子理論データを活用しスペクトル構造を調べることにより同定と波長決定を行う。不純物計測に有用と思われるスペクトル線について温度・密度依存性を整理し、既存の ADAS 等のモデリングと比較検討しモデリングの精度向上を図る。更に高原子番号不純物であるタングステンの M1 遷移を観測し、高精度で波長を決定し、原子理論と比較することにより、原子構造モデリングの進展を促す。タングステンの M1 遷移を観測し、密度及びイオン温度等の空間分布を計測し、ITER 計測への適用可能性を実証する。得られたデータを公表後、EAST トカマクのタングステン壁放電でのスペクトルと比較し、実機に即した新たな計測の可能性を探る。

4. 研究成果

LHD でタングステンのスペクトル研究を行うにあたって、最適なタングステンペレットサイズ、打ち込み速度及び放電条件を見つける必要があった。そのために、タングステン含有ポリエチレン及びグラファイトペレットを製作した。ポリエチレンペレットは融点が低いので、グラファイトペレットと比較してよりプラズマの周辺部で溶発した。NBI 入射タイミングや密度等の放電条件を最適化した結果、溶発位置は異なるが、両方のペレットでタングステンスペクトルを観測することに成功した。溶発位置の違いはペレット入射後のタングステンスペクトルの経時変化に違いをもたらしたが、それは本研究に於いては本質的な要素ではなかった。同時に EUV 分光器にポリエチレン薄膜フィルターを装着し、プラズマから直接分光器に入射してくる高速中性粒子を遮断し、CCD 検出器の信号から雑音を除去することに成功した。

最適化したタングステンペレット入射と改善を施した EUV 分光器を用いてタングステンスペクトルを観測した。首尾よくスペクトル観測に成功し、UTA と呼ばれるタングステン疑似連続光も同定することができた。図 1 (a)にその UTA スペクトルを示す。多くのスペクトル線の集合から構成されている UTA スペクトルを解析するために、タングステン専用の輻射再結合モデル (CR モデル) を同時に開発・発展させた。結果を図 1 (b)に示す。CR モデルに多くのタングステンの原子準位を加えた結果、うまく実験スペクトルを再現することに成功した。

次に、短波長側に存在するタングステンスペクトルの実験と計算の比較を行った。結果を図 2 に示す。図には、原子衝突実験のための EBIT 装置からのタングステンスペクトルも同時に示す。EBIT では電子ビームエネルギーを掃引することにより簡単に各スペクトルのタングステン価数を求めることができ、

このデータを基にして LHD からのタングステンスペクトルの同定を行った。プラズマからのタングステンスペクトルは電子温度・密度の空間分布や不純物輸送を含んだ結果なので、EBIT からのスペクトルとは若干の違いがみられるが、実験と計算は非常に良い一致を示している。

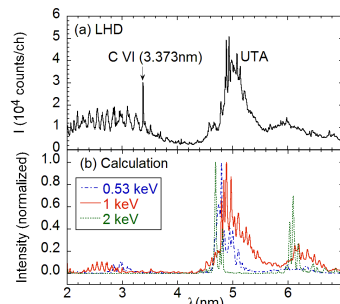


図 1 タングステン UTA スペクトル (a) 実験、(b) CR モデルによる計算)

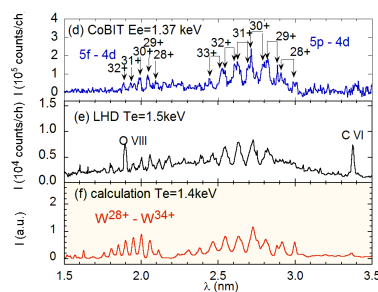


図 2 タングステン価数スペクトル (a) 実験、(b) CR モデルによる計算)

最後に、M1 遷移に関する実験結果を図 3 に示す。タングステンの入射量を最大にしたときに、明瞭に W^{26+} ($4f^2$) イオンからの M1 遷移 (3H_5 - 3H_4) を観測することに成功した。測定したスペクトルの波長を 3893.7 及び 3899.1 と決定した。Grasp2K コードを利用した MCDF 計算では、3884.3 となり、実験と計算の明白な違いが存在する。得られたデータを基にして、量子電気力学を中心にした原子構造理論の今後の発展が期待される。

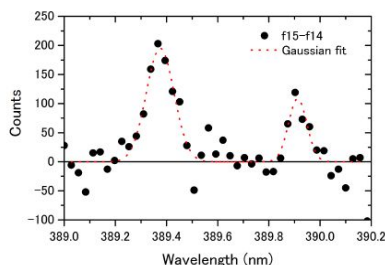


図 3 タングステン W^{26+} イオンの M1 遷移

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 81 件)

[1] (査読有) T.Oishi, S.Morita, X.L.Huang, H.M.Zhang, M.Goto

- Observation of WIV-WVII line emissions in wavelength range of 495-1475Å in the Large Helical Device
 Physica Scripta, **91** (2016) 025602-1-16.
 doi:10.1088/0031-8949/91/2/025602
- [2] (査読有) S.Morita, M.Kobayashi, T.Oishi, H.M.Zhang, M.Goto, Z.Y.Cui, C.F.Dong, L.Q.Hu, X.L.Huang, G.Kawamura, S.Masuzaki, I.Murakami, E.H.Wang
 Effect of neutral hydrogen on edge impurity behavior in stochastic magnetic field layer of Large Helical Device
 Journal of Nuclear Materials **463** (2015) 644-648.
 doi.org/10.1016/j.jnucmat.2014.12.055
- [3] (査読有) Z.Y.Cui, S.Morita, M.Kobayashi, X.T.Ding, X.Q.Ji, J.Cheng, C.F.Dong, P.Sun, K.Zhang, H.Y.Zhou, R.Mao, L.Nie, Z.B.Shi, Y.G.Li, B.Z.Fu, P.Lu, Y.Xu, L.W.Yan, Q.W.Yang, X.R.Duan
 Study of carbon transport in the scrape-off layer of HL-2A with impurity sources located at limiter, dome and divertor
 Nuclear Fusion **55** (2015) 093034-1-13.
 doi:10.1088/0029-5515/55/9/093034
- [4] (査読有) L.Zhang, S.Morita, Z.Xu, Z.W.Wu, P.F.Zhang, C.R.Wu, W.Gao, T.Oishi, M.Goto, J.S.Shen, Y.J.Chen, X.Liu, Y.M.Wang, C.F.Dong, H.M.Zhang, X.L.Huang, X.Z.Gong, L.Q.Hu, J.L.Chen, X.D.Zhang, B.N.Wan, J.G.Li
 A fast-time-response extreme ultraviolet spectrometer for measurement of impurity line emissions in the Experimental Advanced Superconducting Tokamak
 Review of Scientific Instruments **86** (2015) 123509-1-10.
 doi.org/10.1063/1.4937723
- [5] (査読有) M.Shinohara, K.Fujii, D.Kato, N.Nakamura, M.Goto, S.Morita, M.Hasuo
 Visible Emission Spectroscopy of Highly Charged tungsten ions in LHD I: Survey of new visible emission lines
 Physica Scripta **90** (2015) 125402-1-10.
 doi:10.1088/0031-8949/90/12/125402
- [6] (査読有) K.Fujii, Y.Takahashi, Y.Nakai, D.Kato, M.Goto, S.Morita, M.Hasuo
 Visible Emission Spectroscopy of Highly Charged tungsten Ions in LHD II: Evaluation of tungsten ion temperature
 Physica Scripta **90** (2015) 125403-1-7.
 doi:10.1088/0031-8949/90/12/125403
- [7] (査読有) T.Oishi, S.Morita, X.L.Huang, H.M.Zhang, M.Goto
 Line spectrum of tungsten ions at low ionization stages in Large Helical Device in wavelength range of 300-2400Å measured using 20cm normal incidence VUV spectrometers
 Plasma and Fusion Research **10** (2015) 3402031-1-4.
 doi: 10.1585/pfr.10.3402031
- [8] (査読有) I.Murakami, H.A.Sakaue, C.Suzuki, D.Kato, M.Goto, N.Tamura, S.Sudo and S.Morita
 Development of quantitative atomic modeling for tungsten transport study using LHD plasmas with tungsten pellet injection
 Nuclear Fusion **55** (2015) 093016-1-9.
 doi:10.1088/0029-5515/55/9/093016
- [9] T.Oishi, S.Morita, X.L.Huang, H.M.Zhang, M.Goto
 Line spectrum of tungsten ions at low ionization stages in Large Helical Device in wavelength range of 300-2400Å measured using 20cm normal incidence VUV spectrometers
 Plasma and Fusion Research **10** (2015) 3402031-1-4.
 doi: 10.1585/pfr.10.3402031
- [10] (査読有) S.Morita, E.H.Wang, C.F.Dong, T.Oishi, M.Goto, X.L.Huang
 Two-dimensional study of edge impurity transport in the Large Helical Device
 Plasma Physics and Controlled Fusion, **56** (2014) 094007-1-10.
 doi: 10.1088/0741-3335/56/9/094007
- [11] (査読有) X.L.Huang, S.Morita, T.Oishi, M.Goto, H.M.Zhang
 Coaxial pellets for metallic impurity injection on the large helical device
 Review of Scientific Instruments **85** (2014) 11E818-1-4.
 doi: 10.1063/1.4892440
- [12] T.Oishi, S.Morita, X.L.Huang, H.M.Zhang, M.Goto
 Line spectrum and ion temperature measurements from tungsten ions at low ionization stages in large helical device based on vacuum ultraviolet spectroscopy in wavelength range of 500-2200Å
 Review of Scientific Instruments **85** (2014) 11E415-1-3.
 doi : 10.1063/1.4885470
- [13] (査読有) S.Morita, C.F.Dong, M.Goto, D.Kato, I.Murakami, H.A.Sakaue, M.Hasuo, F.koike, N.Nakamura, T.Oishi, A.Sasaki, E.H.Wang
 A study of tungsten spectra using Large Helical device and Compact Electron Beam Ion Trap in NIFS
 AIP Conference Proceedings **1545** (2013) 143-152.
 doi: 10.1063/1.4815848
- [14] (査読有) S.Morita, C.F.Dong, M.Kobayashi,

M.Goto, X.L.Huang, I.Murakami, T.Oishi, E.H.Wang, N.Ashikawa, K.Fujii, M.Hasuo, H.Kasahara, D.Kato, F.Koike, S.Masuzaki, H.A.Sakaue, T.Shikama, N.Yamaguchi
Effective screening of iron impurities in the ergodic layer of the Large Helical Device with a metallic first wall
Nuclear Fusion **53** (2013) 093017-1-12.
doi: 10.1088/0029-5515/53/9/093017

[15] (査読有) D.Kato, M.Goto, S.Morita, I.Murakami, H.A.Sakaue, X.B.Ding, S.Sudo, C.Suzuki, N.Tamura, N.Nakamura, H.Watanabe, F.Koike
Observation of visible forbidden lines from highly charged tungsten ions at the large helical device
Physica Scripta **T156** (2013) 014081-1-3.
doi: 10.1088/0031-8949/2013/T156/014081

[16] (査読有) F.Koike, I.Murakami, C.Suzuki, D.Kato, H.A.Sakaue, S.Morita, M.Goto, T.Kato, A.Sasaki
Theoretical spectral analysis of extreme ultraviolet emissions from lanthanide atomic ions in plasmas
Physica Scripta **T156** (2013) 014079-1-3.
doi: 10.1088/0031-8949/2013/T156/014079

[17] (査読有) Z.Y.Cui, S.Morita, H.Y.Zhou, X.T.Ding, P.Sun, M.Kobayashi, X.W.Cui, Y.Xu, X.L.Huang, Z.B.Shi, J.Cheng, Y.G.Li, B.B.Feng, S.D.Song, L.W.Yan, Q.W.Yang, X.R.Duan
Enhancement of edge impurity transport with ECRH in the HL-2A tokamak
Nuclear Fusion **53** (2013) 093001-1-9.
doi: 10.1088/0029-5515/53/9/093001

[18] (査読有) C.F.Dong, S.Morita, M.B.Chowdhuri, M.Goto
Survey of EUV impurity line spectra and EUV bremsstrahlung continuum in LHD
Plasma and Fusion Research **6** (2011) 2402078-1-6
DOI: 10.1585/pfr.6.2402078

[19] (査読有) C.F.Dong, S.Morita, M.Kobayashi, M.Goto, S.Masuzaki, T.Morisaki, E.H.Wang
A study on plasma edge boundary in ergodic layer of LHD based on radial profile measurement of impurity line emissions
Physics of Plasmas **18** (2011) 082511-1-13
doi:10.1063/1.3626540

[20] (査読有) H.A.Sakaue, N.Yamamoto, S.Morita, N.Nakamura, C.Chen, D.Kato, H.Kikuchi, I.Murakami, S.Ohtani, H.Tanuma, T.Watanabe, H.Tawara
Electron density dependence of intensity ratio for FeXXII extreme ultraviolet emission lines arising from different ground levels in electron beam ion

trap and large helical device
Journal of Applied Physics **109** (2011) 073304-1-9
doi:10.1063/1.3549707

[学会発表](計 58件)
[1] Y.Liu, S.Morita, T.Oishi, I.Murakami, M.Goto, X.L.Huang, H.M.Zhang
Study of temporal behavior and spatial distribution of tungsten ions based on EUV spectroscopy
日本物理学会, 22aAD-9, 宮城県・仙台市・東北学院大学, 2016年3月19-22日

[2] 森田繁, 黄賢礼, 村上泉, 大石鉄太郎, 後藤基志, 張洪明
LHDでの44価及び45価タングステンイオンスペクトルを用いたタングステン密度計測
日本物理学会, 18pCN-2, 大阪府・吹田市・関西大, 2015年9月16-19日.

[3] S.Morita, T.Oishi, X.L.Huang, H.M.Zhang, M.Goto, L.Q.Hu, Z.W.Wu, L.Zhang, F.Wang
Tungsten pellet injection in LHD
6th A3 Foresight Program Seminar on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High- Performance Plasmas, Oral, Session 4-2, Nanning, China, 6-9, January, 2015

[4] S.Morita, T.Oishi, I.Murakami, M.Goto, X.L.Huang, D.Kato, H.A.Sakaue, H.M.Zhang, K.Fujii, M.Hasuo, L.Q.Hu, Z.W.Wu, L.Zhang, C.F.Dong, Z.Y.Cui
Recent progress on tungsten spectroscopy and its data analysis in Large Helical Device
IAEA Technical Meeting on Atomic, Molecular and Plasma Material Interaction Data for Fusion Science and Technology (IAEA-F4-TM-42581), Oral (Invited), Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea, 15-19 December, 2014

[5] C.F.Dong, Z.Y.Cui, H.Y.Zhou, S.Morita, P.Sun, B.Z.Fu, P.Lu, Y.Zhou, Y.Huang, Q.W.Yang, X.R.Duan
Spatial profile measurement and analysis of EUV impurity spectra in HL-2A tokamak
5th China-Japan Joint Seminar on Atomic and Molecular Processes in Plasmas (AMPP2014), Lanzhou, China, Oral talk, Session3-3, 29-31 July, 2014

[6] 村上泉, 加藤太治, 坂上裕之, 鈴木千尋, 森田繁, 後藤基志, 他3名
タングステン多価イオンの衝突輻射モデル構築と極端紫外スペクトル解析
日本物理学会, 神奈川県・相模原市・東海大 2014年3月27-30日

[7] 加藤太治, 坂上裕之, 後藤基志, 森田繁, 村上泉, 他7名

LHD でのタングステン多価イオン M1遷移の
観測と電離 / 再結合係数データ評価
日本物理学会, 神奈川県・相模原市・東
海大 2014年3月27-30日

[8] S.Morita, I.Murakami, H.A.Sakaue, C.F.Dong,
M.Goto, D.Kato, T.Oishi, X.L.Huang, E.H.Wang,
L.Zhang, Z.W.Wu, L.Q.Hu, B.Lu, Z.Y.Cui,
H.Y.Zhou

A Problem to be solved for tungsten diagnostics
through EUV spectroscopy in fusion devices
A3 Foresight Program Seminar on Critical
Physics Issues Specific to Steady State
Sustainment of High-Temperature Plasmas, 20-23
May, 2013, Beijing, China

[9] D.Kato, H.A.Sakaue, I.Murakami, M.Goto,
S.Morita, C.Suzuki, N.Tamura, S.Sudo,
N.Nakamura, H.Tanuma, F.Koike, A.Sasaki
CoBIT measurement of tungsten spectra and
detailed spectral modeling

A3 Foresight Program Seminar on Critical
Physics Issues Specific to Steady State
Sustainment of High-Temperature Plasmas, 3-4
November, 2013, Gyeongju, Korea

[10] S.Morita, C.F.Dong, E.H.Wang, D.Kato,
M.Goto, M.Kobayashi, I.Murakami, T.Oishi,
H.Sakaue, Z.Y.Cui, H.Y.Zhou, L.Q.Hu, B.Lu,
L.Zhang

Recent progress on the study of atomic
spectroscopy in LHD and collaboration with
China on high-Z impurity spectroscopy
4th China Japan Joint Seminar on Atomic and
Molecular Processes in Plasma, 30th July - 4th
August, 2012, Lanzhou, China

[11] S.Morita, C.F.Dong, M.Goto, D.Kato,
I.Murakami, H.A.Sakaue, M.Hasuo, F.Koike,
N.Nakamura, T.Oishi, A.Sasaki and E.H.Wang

A Study of tungsten spectra using Large Helical
Device and Compact Electron Beam Ion Trap in
NIFS

Eighth International Conference on Atomic and
Molecular Data and Their Applications (Invited),
30th September - 4th October, 2012, NIST,
Gaithersburg, Maryland, USA.

[12] 森田繁, 董春鳳, 後藤基志
制動放射連続光を用いた極端紫外分光器の絶
対感度較正法の確立

プラズマ核融合学会(受賞講演), 福岡県・春
日市・クローバープラザ, 2012年11月27日

[13] 森田繁

高Z多価イオン研究の重要性とLHDにおける
可視分光

日本物理学会, 兵庫県・西宮市・関西学院大
学, 2012年3月24-27日

〔図書〕(計 1件)

森田繁

丸善出版株式会社, 原子力・量子・核融合辞
典, 第I分冊, 3.10.1 高温プラズマ中の不純
物・放射過程とプラズマ分光, 2014年10月
総ページ数: 300ページ

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

総合研究大学院大学ホームページ(森田繁)
http://soken.nifs.ac.jp/wp/en/faculty/s_morita/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 繁 (MORITA Shigeru)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
教授 研究者番号: 80174423

(2) 研究分担者

後藤 基志 (GOTO Motoshi)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
准教授 研究者番号: 00290916

(3) 連携研究者

武藤 貞嗣 (MUTO Sadatsugu)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
助教 研究者番号: 40260054

(4) 連携研究者

村上 泉 (MURAKAMI Izumi)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
教授 研究者番号: 30290919

(5) 連携研究者

加藤 太治 (KATO Daiji)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・
准教授 研究者番号: 60370136